

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 06 JUN 2003

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 17 443.1

Anmeldetag: 18. April 2002

Anmelder/Inhaber: SorTech AG,
Freiburg im Breisgau/DE

Erstanmelder: Dr. Hans-Martin Henning,
Freiburg im Breisgau/DE

Bezeichnung: Feststoff-Sorptionswärmepumpe

IPC: F 25 B 30/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 08. Mai 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

Feststoff-Sorptionswärmepumpe

Die Erfindung betrifft eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1. Zudem betrifft die Erfindung ein Heizungssystem mit einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe.

Es ist bekannt, thermisch angetriebene Wärmepumpen auf der Basis von Feststoffadsorption für Heizungs- und Kühlungs Zwecke zu verwenden. Übliche Arbeitsstoffpaare – Sorptionsmaterial und Adsorbat – sind beispielsweise Zeolith und Wasser, wobei das Arbeitsgas Wasser im Niederdruckbereich betrieben wird. Adsorptionswärmepumpen mit einem solchen Arbeitsstoffpaar sind beispielsweise in der DE 199 61 629 und DE 100 38 636 offenbart.

Es sind jedoch auch Arbeitsstoffpaare, die im Hochdruckbereich betrieben werden, bekannt. Beispielsweise seien Salzsäure-Ammoniak genannt, wie sie zum Beispiel in der US 4.694.659 offenbart sind.

An Feststoff-Sorptionswärmepumpen werden verschiedene technische Anforderungen gestellt. Besonders wesentlich sind die Forderungen nach einem hohen Wärmeverhältnis, einer hohen Leistungsdichte und einer einfachen Regelbarkeit der Wärmeabgabe. Das Wärmeverhältnis der Nutzwärme zur Antriebswärme (auch COP: Coefficient of Performance) hängt im wesentlichen von den Anteilen des sorptiven und des sensiblen Wärmeumsatzes während eines Wärmepumpenzyklus ab. Unter sorptivem Umsatz versteht man die Freisetzung der bei der Adsorption des Arbeitsgases entstehende beziehungsweise die Aufnahme der zur Desorption benötigte Sorptionswärme, wohingegen der sensible Wärmeumsatz den Energieumsatz beschreibt, der bei der Aufheizung beziehungsweise Abkühlung des gesamten Systems auftritt.

Nimmt man idealerweise an, dass die sensible Wärme vernachlässigbar klein ist, wird das maximal mögliche Wärmeverhältnis mit einem bestimmten Arbeitsstoff-

5 paar erreicht. Für Silikagel-Wasser liegt dieses für eine einstufige Wärmepumpe typischerweise bei ca. 180%. Diese Prozentzahl setzt sich zusammen aus 100 Prozent Nutzwärme, die aus der Antriebswärme gewonnen wird, bei gleichzeitiger vollständiger Desorption des Adsorbats. Der zweite Anteil von 80 Prozent kann in Form von Nutzwärme abgegeben werden, bei der anschließenden Abkühlung des Adsorbers und der Adsorption des Adsorbats im Sorptionsmaterial.

15 Um besonders hohe Wärmeverhältnisse zu erreichen, wurden thermodynamisch immer ausgereifere Systeme entwickelt, wobei insbesondere durch die Anordnung einer Vielzahl von Adsorbern beziehungsweise Desorbern, welche nacheinander vom Wärmeträger durchströmt werden und in einer Vielzahl von Zyklen geschaltet werden, eine möglichst hohe Wärmerückgewinnung angestrebt wird, die das Verhältnis zwischen sorptivem und sensiblem Umsatz verbessert. Nachteilig an diesen Systemen sind jedoch der erhebliche technische Aufwand, die Störanfälligkeit und die hohen Herstellungs- und Wartungskosten.

20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe mit einem hohen Wärmeverhältnis und ein Heizungssystem anzugeben, welche gegenüber dem Stand der Technik verbessert sind.

25 Diese Aufgabe wird durch eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe beziehungsweise ein Heizungssystem gemäß der unabhängigen Ansprüche gelöst. Die abhängigen Ansprüche beschreiben besonders vorteilhafte Ausgestaltungen.

30 Der Erfinder hat erkannt, dass die herkömmlichen Feststoff-Sorptionspumpen zwar hinsichtlich des thermodynamischen Prozesses durch die kaskadenförmige Verschaltung mehrere Adsorber beziehungsweise Desorber verbessert sind, gleichzeitig aber auch durch den notwendigen Einbau von Rohren, Ventilen und Pumpen für den inneren Wärmeaustausch zusätzliche Kapazitäten und Wärmeverluste in den Gesamtapparat eingebracht werden, welche wiederum die Effizienz der Wärmerückgewinnung reduzieren. Die erfindungsgemäße Wärmepumpe

zeichnet sich durch einen besonders einfachen Aufbau aus, der zum einen die Herstellungskosten reduziert und die Störanfälligkeit deutlich verringert. Zum anderen kann durch den erfindungsgemäßen Aufbau die Wärmekapazität des gesamten Apparates außerordentlich gering gehalten werden, so dass der sensible Wärmeumsatz entsprechend gering ausfällt.

Bei der erfindungsgemäßen Feststoff-Sorptionswärmepumpe ist eine Adsorber-Desorber-Einheit und eine Kondensator-Verdampfer-Einheit in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet und durch ein adsorptivdurchlässiges Element voneinander getrennt. In der Gasphase wird der Arbeitsstoff als Adsorptiv bezeichnet und in der adsorbierten, flüssigen Phase als Adsorbat. Man könnte daher auch allgemein von einem dampfdurchlässigen Element sprechen. Das Gehäuse ist gegenüber der Umgebung abgedichtet.

Die Adsorber-Desorber-Einheit umfasst einen Wärmetauscher, zum Übertragen von Wärme von einem Wärmeträger, der durch den Wärmetauscher strömt, auf das Feststoff-Sorptionsmaterial beziehungsweise vom Feststoff-Sorptionsmaterial auf den Wärmeträger.

Verdampfer und Kondensator der erfindungsgemäßen Feststoff-Sorptionswärmepumpe sind als ein Bauteil – Kondensator-Verdampfer-Einheit – ausgeführt. Mittels der Kondensator-Verdampfer-Einheit kann einerseits das dampfförmige Adsorptiv kondensiert werden und dabei die Kondensationswärme auf ein Wärme-medium zur Weiterleitung in eine Heizeinrichtung übertragen werden und andererseits Wärme aus einer Niedertemperaturquelle dem flüssigen Arbeitsstoff zur Verdampfung zugeführt werden.

Die Kondensator-Verdampfer-Einheit ist vorteilhaft im gemeinsamen Gehäuse unterhalb der Adsorber-Desorber-Einheit angeordnet und das adsorptivdurchlässige Element als ein dampfdurchlässiger Schwamm ausgebildet, welcher die Funktion

eines Abstandshalters mit Dampfkanälen hat. Insbesondere ist die Verwendung eines Keramik-Schwammes als adsorptivdurchlässiges Element geeignet.

5 Um einen vorteilhaften Aufbau mit einer besonders geringen Wärmekapazität zu erreichen, umfasst die Adsorber-Desorber-Einheit einen wärmeleitenden Aufnahmekörper, der in wärmeleitender Verbindung mit dem Wärmetauscher steht. Der Aufnahmekörper erfüllt zwei Funktionen, nämlich einerseits die Wärmeübertragung zwischen Wärmetauscher und Sorptionsmaterial und andererseits die Herstellung einer stabilen Struktur der Adsorber-Desorber-Einheit. Mit dieser stabilen Struktur ist es nämlich möglich, die Wandung des gemeinsamen Gehäuses besonders dünn auszuführen, da diese der Baueinheit der Sorptionswärmepumpe keine zusätzliche Stabilität mehr verleihen muss, sondern lediglich zur Abdichtung des Innenraumes mit der Adsorber-Desorber-Einheit und der Kondensator-Verdampfer-Einheit gegenüber der Umgebung dient. Die Außenwand kann beispielsweise als Blechummantelung ausgeführt sein mit einer Wandstärke von 0,5 Millimetern oder weniger, insbesondere von 0,1 bis 0,5 Millimetern, die von außen auf die Adsorber-Desorber-Einheit beziehungsweise Kondensator-Verdampfer-Einheit aufgelegt oder abgestützt ist. Besonders vorteilhaft umfasst auch die Kondensator-Verdampfer-Einheit einen gleichartigen Aufnahmekörper mit der Doppelfunktion des Übertragens von Wärme zwischen Arbeitsstoff und zugeführtem/abgeführtem Wärmeträger und des Herstellens einer stabilen Struktur.

25 Für den Aufbau des Aufnahmekörpers sind insbesondere zwei Ausführungen geeignet. Die erste Ausführung umfasst eine Lamellenkonstruktion, die um den Wärmetauscher der Adsorber-Desorber-Einheit angeordnet ist. Zwischen die einzelnen Lamellen ist das Feststoff-Sorptionsmaterial eingebracht, derart, dass ein möglichst hoher Wärmeübergang vom Wärmetauscher auf das Sorptionsmaterial erreicht wird. Insbesondere sind handelsübliche Lamellenwärmetauscher verwendbar, wobei vorteilhafterweise die Lamellen senkrecht angeordnet sind und Bohrungen für den Dampftransport des Sorptionsmaterials aufweisen.

Die zweite vorteilhafte Ausführung des Aufnahmekörpers weist einen Metall-Schwamm auf, in dessen Zwischenräume das Sorptionsmaterial eingebracht ist, und durch welchen die Rohrleitungen des Wärmetauschers geführt sind.

5 In einer besonders vorteilhaften Ausführung ist vorgesehen, den Wärmetauscher der Adsorber-Desorber-Einheit und/oder den Aufnahmekörper derselben mit dem Sorptionsmaterial zu beschichten. Dies kann alternativ oder zusätzlich zu der Einbringung des Feststoff-Sorptionsmaterialies in die Adsorber-Desorber-Einheit erfolgen.

15 Um eine besonders gute Isolierung der Feststoff-Sorptionswärmepumpe gegenüber der Umgebung zu erreichen, kann das gemeinsame Gehäuse zweischalig ausgeführt sein. In den Innenraum zwischen die innere und die äußere Schale ist vorteilhaft ein wärmedämmendes Material eingefügt, welches Druckkräfte übertragen kann. Dadurch ist es möglich, beide Schalen besonders dünnwandig auszuführen, beispielsweise als dünne Blechummantelung. Druckkräfte können von der äußeren Schale über das wärmedämmende Material auf die innere Schale und weiter auf den Aufnahmekörper der Adsorber-Desorber-Einheit beziehungsweise der Kondensator-Verdampfer-Einheit abgeleitet werden. Der Zwischenraum zwischen den beiden Schalen kann evakuiert, das heißt mit einem Unterdruck beaufschlagt sein, um die Isolationswirkung noch zu steigern.

20 Das erfindungsgemäße Heizungssystem umfasst einen Heizkreislauf, der von einem Wärmeträger durchströmt wird und an den eine Hochtemperaturquelle angeschlossen ist, von der Wärme auf den Wärmeträger bei einem vorgegebenen ersten Temperaturniveau überführt werden kann. Zudem ist eine Niedertemperaturquelle an den Heizkreislauf angeschlossen, zum Zuführen von Wärme auf den Wärmeträger auf einem zweiten Temperaturniveau, welches unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt. Eine Heizeinrichtung, die zum Abführen von Wärme aus dem Wärmeträger dient – beispielsweise für die Aufheizung eines Raumes oder Gebäudes – ist an den Heizkreislauf angeschlossen, wobei die Wärme auf einem

25

30

vorgegebenen dritten Temperaturniveau abgeführt wird, welches zwischen dem ersten und dem zweiten Temperaturniveau liegt. An den Heizkreislauf ist weiterhin eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe angeschlossen, welche den beschriebenen erfindungsgemäßen Aufbau aufweist. Mittels eines Heizkreisverteilers beziehungsweise mittels Heizkreislaufventilen, die im Heizkreislauf angeordnet sind, kann der Strömungsweg des Wärmeträgers durch den Heizkreislauf beziehungsweise durch die angeschlossenen Elemente eingestellt werden. Dabei ist der Heizkreisverteiler beziehungsweise sind die Heizkreislaufventile derart ausgeführt und angeordnet, dass vorteilhaft drei Schaltphasen eingestellt werden können. Die einzelnen Schaltphasen – Desorptionsphase, Adsorptionsphase und Bypassphase – werden nachfolgend in diesem Dokument beschrieben.

Die Erfindung soll anhand einiger Ausführungsbeispiele näher erläutert werden.

15 Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;

20 Figur 2 eine schematische Darstellung eines Heizkreislaufes mit einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;

25 Figur 3 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe mit einem Aufnahmekörper;

Figur 4 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe mit einem Aufnahmekörper;

Figur 5 eine schematische Darstellung der Wärmeströmungen in den verschiedenen Phasen eines Ausführungsbeispiels eines Heizungssystemes;

5 Figur 6 ein gemeinsames Gehäuse für eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß der vorliegenden Erfindung mit einer besonders guten Wärmedämmung.

15 In Figur 1 erkennt man die Grundkomponenten eines Ausführungsbeispiels einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 gemäß der vorliegenden Erfindung. In einem gemeinsamen Gehäuse 5 sind eine Adsorber-Desorber-Einheit 2 und eine Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 benachbart zueinander angeordnet. Die Adsorber-Desorber-Einheit 2 ist oberhalb der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 angeordnet, und beide Einheiten 5, 6 sind ausschließlich durch ein adsorptivdurchlässiges Element 7 voneinander getrennt. Durch die Adsorber-Desorber-Einheit 2 ist ein Wärmetauscher 3 geführt. Die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 umfasst ebenfalls einen Wärmetauscher, welcher auch als Kondensations-Verdampfungs-Rohr 11 bezeichnet werden kann.

20 Der Innenraum der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 wird durch bei der Kondensation des Arbeitsstoffes (Adsorptiv) anfallenden Kondensats in einen Dampfraum 15 und einen Kondensatraum 16 aufgeteilt. Das Volumen der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 ist derart bemessen, dass der Kondensations-Verdampfungs-Wärmetauscher bei maximalem Kondensatanfall nicht überflutet wird. Im Verhältnis zur Adsorber-Desorber-Einheit 2 hängt das maximal benötigte Kondensatvolumen von der erreichbaren Beladungsbreite der Wärmepumpe ab und beträgt typischerweise 15 bis 25 Prozent des Volumens des Sorptionsmaterials.

30 Das adsorptivdurchlässige Element 7 ist in Form eines schlecht wärmeleitenden Abstandshalters mit Dampfkanälen ausgeführt. Dadurch kann ein vorgegebener

Abstand zwischen den beiden Einheiten 2, 6 eingestellt werden und diese weitgehend thermisch gegeneinander isoliert werden.

Nachfolgend soll kurz die Funktionsweise der dargestellten Feststoff-

5 Sorptionswärmepumpe beschrieben werden: In einer ersten Phase wird über den Wärmetauscher 3 Heizwärme – beispielsweise aus einem Brenner einer Heizungsanlage – der Adsorber-Desorber-Einheit 2 zugeführt. Durch die Wärmezufuhr wird bei der Verwendung beispielsweise eines Silikagel/Wasser-Arbeitspaares Wasserdampf bei Unterdruck aus dem Sorptionsmaterial ausgetrieben. Der dampfförmige Arbeitsstoff (Adsorptiv, beispielsweise Wasserdampf) wird in der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 kondensiert und die dabei entstehende Kondensationswärme über das Kondensations-Verdampfungs-Rohr 11 abgeleitet und zu Heizzwecken genutzt. Aufgrund des bei der Kondensation anfallenden geringeren Druckes wird das aus dem Sorptionsmaterial ausgetriebene Adsorptiv 15 sozusagen in die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 aus der Adsorber-Desorber-Einheit 2 durch das adsorptivdurchlässige Element 7 angesaugt.

20 Nach einer vorgegebenen Zeitspanne (beispielsweise von 30 Minuten) ist der erste Zyklus – Desorptionszyklus – beendet. Zu diesem Zeitpunkt ist idealerweise das Adsorbat vollständig aus dem Sorptionsmaterial ausgetrieben und liegt in kondensierter Form, das heißt in flüssiger Phase, in der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 an. Wie in Figur 1 dargestellt, wird sich ein gewisser Flüssigkeitsspiegel in der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 einstellen.

25 Der Betrieb der dargestellten Feststoff-Sorptionswärmepumpe wird jetzt in die zweite Phase – Adsorptionsphase – durch Umschalten der entsprechenden Leitungsführung im Wärmeträgerkreislauf überführt. Dabei wird die Adsorber-Desorber-Einheit 2, das heißt der Wärmetauscher 3 derselben, mit einer Heizeinrichtung, beispielsweise zum Aufheizen eines Raumes oder Gebäudes, verbunden. Das 30 Kondensations-Verdampfungs-Rohr 11 der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 wird mit einer Niedertemperaturquelle verbunden. Die Adsorber-Desorber-Einheit

2 wird durch Wärmeabgabe abgekühlt. Dabei wird der Arbeitsstoff wieder vom Sorptionsmaterial adsorbiert, nachdem es zuvor in der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 verdampft wurde. Auch dieser zweite Zyklus kann beispielsweise eine halbe Stunde betragen, ist aber insbesondere etwas länger als die Desorptionsphase. Danach befindet sich die Feststoff-Sorptionswärmepumpe wieder in der Ausgangssituation für die erste Phase, das heißt, das Adsorbat ist idealerweise vollständig im Sorptionsmaterial adsorbiert. Adsorptionsphase und Desorptionsphase laufen somit zyklisch ab.

In Figur 2 ist die Systemeinbindung einer Ausführung einer erfindungsgemäßen Feststoff-Sorptionswärmepumpe in ein Heizungssystem gezeigt. Das Heizungssystem umfasst, wie in Figur 2a dargestellt ist, einen Heizkreislauf 20, an den eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1, eine Hochtemperaturquelle 21 in Form eines Brenners mit einem angeschlossenen Wärmeübertrager, eine Niedertemperaturquelle 22 und eine Heizeinrichtung 23 mit einem Abgaswärmeübertrager 23.1 und einer Heizung 23.2 angeschlossen sind. In den Heizkreislauf 20 sind ein Heizkreisverteiler 24 und Heizkreislaufventile 25 in einer Bypassschaltung angeordnet. Damit können drei verschiedene Betriebsphasen eingestellt werden, welche nachfolgend beschrieben werden.

Als Brenner können beliebige konventionelle Brenner, beispielsweise mit Gas, Öl oder anderen Brennstoffen, eingesetzt werden. Als Niedertemperaturquelle sind insbesondere Außenluftwärmetauscher, Erdkollektoren oder Grundwasser geeignet. Durch die Bypassschaltung ist ein bivalenter Betrieb von Brenner und Wärmepumpe möglich (Phase 3 - Bypass).

Durch die gezeigte Systemeinbindung ist es möglich, die Wärmepumpe mit einem öl- oder gasbetriebenen Brenner in einer Weise zu kombinieren, dass sowohl die Brennwertnutzung durch Kondensation der Abgase als auch die Nutzung der Wärmepumpe kombiniert werden können. Hierzu sind zwei getrennte Wärmeüberträger für die Wärmeauskopplung aus der Brennkammer und die Kondensation

der Abgase vorgesehen. Auf den Abgaswärmeüberträger 23.1 kann auch verzichtet werden, wenn eine Nutzung der Wärmeenergie der Abgase entbehrlich ist.

In Figur 2b ist der Heizkreisverteiler 24 und dessen Verschaltungsmöglichkeiten nochmals in größerem Detail dargestellt. Schematisch ist die Anordnung der verschiedenen Elemente – Hochtemperaturquelle 21, Niedertemperaturquelle 22, Heizeinrichtung 23, Adsorber-Desorber-Einheit 2 und Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 – dargestellt und deren Verschaltung im Heizkreislauf 20 mittels des Heizkreisverteilers 24. Der Heizkreisverteiler 24 umfasst drei Heizkreislaufventile 25, die insbesondere als Motor-3-Wege-Ventile ausgebildet sind.

Der gezeigte Verteiler 24 ist derart ausgebildet, dass folgende Verschaltungsmöglichkeiten (Phasen) eingestellt werden können:

Phase 1 – Desorption: Die Hochtemperaturquelle 21 ist mittels eines Strömungskreislaufes von einem Wärmeträger mit der Adsorber-Desorber-Einheit 2 verbunden; die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 ist mittels eines Strömungskreislaufes von einem Wärmeüberträger mit der Heizeinrichtung 23 verbunden; die Niedertemperaturquelle 22 ist gegenüber dem restlichen Heizkreislauf abgesperrt.

Phase 2 – Adsorption: Die Hochtemperaturquelle 21 ist gegenüber dem restlichen Heizkreislauf abgesperrt; die Heizeinrichtung 23 ist mittels eines Strömungskreislaufes von einem Wärmeträger mit der Adsorber-Desorber-Einheit 2 verbunden; die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 ist mittels eines Strömungskreislaufes von einem Wärmeträger mit der Niedertemperaturquelle 22 verbunden.

Phase 3 – Bypass: Die Niedertemperaturquelle 22, die Adsorber-Desorber-Einheit 2 und die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 sind gegenüber dem restlichen Heizkreislauf abgesperrt; die Hochtemperaturquelle 21 ist mit einem Strömungskreislauf von einem Wärmeträger mit der Heizeinrichtung 23 verbunden.

Die Schaltstellungen der einzelnen Heizkreislaufventile 25 für die Phasen 1 und 2 sind aneinandergeschaltet. Anstelle der in Figur 2b dargestellten getrennten Ventile ist es auch möglich, im Heizkreisverteiler einen Ventilblock vorzusehen.

Die Zyklendauer (Phasendauer) der Sorptionswärmepumpe wird an die Wärmeabgabe der Heizeinrichtung angepasst. Die Phasen 1 und 2 (Desorption und Adsorption) werden alternierend jeweils so lange durchgeführt, bis die Vorlauftemperatur den aus der Heizkurve bestimmten Sollwert des Heiznetzes unterschreitet. Dadurch kann trotz diskontinuierlichen Betriebes der Wärmepumpe eine gleichmäßige Wärmeabgabe geleistet werden. Die Phase 3 (Bypass) wird eingestellt, wenn aufgrund der Betriebsbedingungen das Wärmeverhältnis der Wärmepumpe den Wert Eins erreicht. In diesem Fall wird die Hochtemperaturquelle 21, beispielsweise ein Brenner, direkt an das Heiznetz, das heißt die Heizeinrichtung 23 gekoppelt.

Die Wärmeströme in den einzelnen Phasen 1 bis 3 sind noch einmal in der Figur 5 dargestellt. Figur 5a zeigt die Phase 1 (Desorptionsphase). Von der Hochtemperaturquelle 21 fließt ein Wärmestrom in die Adsorber-Desorber-Einheit 2 der Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1. Hier wird durch Erwärmung des Sorptionsmaterials das Adsorbat gelöst und strömt dampfförmig zur Kondensator-Verdampfer-Einheit 6, wo es kondensiert wird. Die Kondensationswärme wird von der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 in einem Wärmestrom zur Heizeinrichtung 23 geleitet. Die Niedertemperaturquelle 22 ist gegenüber dem Heizkreislauf isoliert.

In Figur 5b sind die Wärmeströme in der Phase 2 (Desorptionsphase) dargestellt. Die Hochtemperaturquelle 21 ist gegenüber dem restlichen System, das heißt dem Heizkreislauf isoliert. Die Niedertemperaturquelle 22 ist mittels des Heizkreisverteilers 24 derart an die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 der Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 angeschlossen, dass ein Wärmestrom von der Niedertemperaturquelle 22 zur Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 fließt. Der flüssige Arbeitsstoff wird in der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 verdampft und strömt dampfförmig zur Adsorber-Desorber-Einheit 2, wo es sich am Sorptionsmaterial anlagert. Die Wärme der in Phase 1 aufgeheizten Adsorber-Desorber-Einheit 2 wird in einem Wärmestrom zur Heizeinrichtung 23 befördert. Somit können Wärmeverhältnisse von über 100 Prozent erreicht werden, das heißt idealerweise werden 100 Prozent der Heizenergie der Hochtemperaturquelle 21 in Phase 1 auf die Heizeinrichtung 23 übertragen und weitere 80 Prozent in Phase 2 durch den Wärmestrom aus der Niedertemperaturquelle 22 und die Adsorption in der Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1.

In Figur 5c ist die Phase 3 (Bypassphase) dargestellt. Wie man sieht, ist mittels des Heizkreisverteilers 24 die Hochtemperaturquelle 21 direkt mit der Heizeinrichtung 23 verschaltet, so dass der Wärmestrom von der Hochtemperaturquelle 21 unmittelbar zur Heizeinrichtung 23 fließt. Die Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1, das heißt Adsorber-Desorber-Einheit 2 und Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 sowie die Niedertemperaturquelle 22 sind vom restlichen System isoliert.

In Figur 3 ist eine erste vorzugsweise Ausführung der erfindungsgemäßen Feststoff-Sorptionswärmepumpe dargestellt. Figur 3a zeigt eine Adsorber-Desorber-Einheit mit einem Aufnahmekörper 9 in einer Lamellenform. Man kann die Adsorber-Desorber-Einheit auch als Lamellen-Adsorber bezeichnen. In Figur 3a ist eine Seitenansicht des Lamellen-Adsorbers dargestellt und in Figur 3b eine Aufsicht auf ein einzelnes Lamellenblatt. Beispielsweise kann ein handelsüblicher Lamellenwärmetauscher verwendet werden, der, wie in den Figuren 5a und 5b dargestellt ist, entsprechend angepasst wird.

Zwischen die Lamellen des Aufnahmekörpers 9 ist das Feststoff-Sorptionsmaterial 4 eingebracht, derart, dass ein möglichst guter Wärmeübergang vom Wärmetauscher über die Lamellen auf das Feststoff-Sorptionsmaterial 4 stattfindet. Der Wärmetauscher umfasst horizontale Rohrabschnitte, welche über Umlenkungen 13 miteinander verbunden sind, so dass der im Wärmetauscher geführte Wärmeträger von einem horizontalen Abschnitt über eine Umlenkung 13 in den nächsten, beispielsweise darunterliegenden, horizontalen Abschnitt geführt wird. Die Umlenkungen 13 ragen seitlich aus dem Aufnahmekörper 9 heraus.

Die Lamellen des Aufnahmekörpers 9 sind senkrecht ausgerichtet, um eine gute Durchlüftung zu ermöglichen. Die einzelnen Lamellen umfassen Öffnungen für den Dampftransport, die nicht mit Rohren ausgefüllt sind. In die Öffnungen können perforierte Rohre, Bleche oder Drahtnetze eingebracht werden, um Dampfkanäle auszubilden. In Figur 3b ist ein einzelnes Lamellenblatt 17 mit darin eingebrachten Wärmeträgerrohren 18 und Dampfkanälen 19 dargestellt. Das Wärmeträgerrohr 18 ist beispielsweise der genannte horizontale Rohrabschnitt des Wärmetauschers 3, und kann beispielsweise mit Wasser als Wärmeträger durchströmt werden.

Der Aufnahmekörper 9 wird mit dem Sorptionsmaterial befüllt. Um zu verhindern, dass das Material herausrieselt, kann ein Drahtnetz oder ein perforiertes Blech umspannt werden. Alternativ oder zusätzlich können die Lamellen, die beispielsweise aus Kupfer- oder Aluminiumblech hergestellt sind, mit dem Sorptionsmaterial beschichtet werden.

In Figur 3c ist die vollständige Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 mit einem Aufnahmekörper 9 gemäß der Figuren 3a und 3b dargestellt. Wie man sieht, umfasst auch die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 einen entsprechend ausgebildeten Aufnahmekörper 10. Man könnte die Kondensator-Verdampfer-Einheit auch als Lamellenverdampfer/-kondensator bezeichnen.

Die Adsorber-Desorber-Einheit 2 und die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 sind in einem gemeinsamen Gehäuse 5 angeordnet und durch einen Keramikschwamm 8 voneinander getrennt. Das gemeinsame Gehäuse 5 besteht aus einem dünnen Blech, welches beide Elemente umhüllt. Die mechanische Stabilität des Bleches wird durch die Unterstützung der Ränder des Wärmetauschers 3 im Bereich der Rohrumlenkungen 13 gesichert.

Der Abstand zwischen Adsorber-Desorber-Einheit und Kondensator-Verdampfer-Einheit wird durch den Keramikschwamm 8 hergestellt, welcher eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist, jedoch eine ausreichende Dampfdurchlässigkeit und Stabilität. Der Dampftransport, das heißt die Strömung des Adsorptivs, zwischen Adsorber-Desorber-Einheit 2 und Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 verläuft im Bereich der Rohrumlenkungen 13 der Lamellenwärmeüberträger. Die Blechverkleidung ist vakuumdicht gegenüber der Umgebung ausgeführt.

Durch die in Figur 3 gezeigte Ausführung ist es möglich, die gesamte Feststoff-Sorptionswärmepumpe mit einer geringen Wärmekapazität auszuführen, aufgrund des einfachen Aufbaues mit wenigen Rohrleitungen und geringer Wandstärke, und dadurch ein besonders hohes Wärmeverhältnis zu erreichen.

Figur 4 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Feststoff-Sorptionswärmepumpe mit einem Aufnahmekörper. Der in den Figuren 4a und Figur 4b dargestellte Aufnahmekörper 9 der Adsorber-Desorber-Einheit 2 ist als Metallschwamm ausgebildet. Der Metallschwamm dient der Wärmeübertragung zwischen dem in dem Wärmetauscher 3 geführten Wärmeträger und dem Sorptionsmaterial. Der Metallschwamm ist offenporig ausgeführt und mit Sorptionsmaterial befüllt oder beschichtet. Der Metallschwamm kann mit einem Drahtnetz oder einem perforierten Blech umspannt werden, um zu verhindern, dass das Sorptionsmaterial herausrieselt.

Die Rohrleitungen des Wärmetauschers 3 sind in den Metallschwamm eingebracht. Die Verbindung zwischen dem Metallschwamm und der Rohrleitung ist gut wärmeleitend, dies kann insbesondere durch Eingießen oder Einlöten des Rohres erreicht werden.

5

Wie in Figur 4b dargestellt ist, können in den Metallschwamm zusätzliche Dampfkanaäle 19 eingestanzte werden.

Der Wärmetauscher 3 kann wiederum aus horizontalen Rohrabschnitten 12 aufgebaut sein, die durch Umlenkungen 13 miteinander verbunden sind. Wie in der Draufsicht in Figur 4b dargestellt ist, ist in diesem Ausführungsbeispiel ein Wärmetauscher, umfassend drei vertikal nebeneinander angeordnete Rohrschleifen, in den Metallschwamm eingebracht. Der Metallschwamm kann dabei vorzugsweise aus drei quaderförmigen Abschnitten hergestellt sein, mit jeweils einem eingebrachten Rohrabschnitt, die bündig zueinander in dem gemeinsamen Gehäuse 5 angeordnet sind. Dadurch ist es besonders leicht möglich, die Dampfkanaäle 19 in den Aufnahmekörper 9, das heißt den Metallschwamm, einzubringen. Selbstverständlich ist es auch möglich, den Metallschwamm derart zu segmentieren, dass die Rohre des Wärmetauschers 3 zwischen zwei benachbarte Segmente eingelegt werden können.

15

20

Die Dampfkanaäle können mit perforierten Rohren, Blechen oder Drahtnetzen versehen werden, um ein Herausrieseln des Feststoff-Sorptionsmaterials 4 zu verhindern.

25

In Figur 4c ist eine komplette Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 mit einer Adsorber-Desorber-Einheit 2, umfassend einen Aufnahmekörper 9, der als Metallschwamm ausgebildet ist, und einer Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 mit einem Aufnahmekörper 10, der ebenfalls entsprechend als Metallschwamm ausgeführt ist, in einem gemeinsamen Gehäuse 5 dargestellt. Die beiden Einheiten 2, 6 sind übereinander benachbart angeordnet und ausschließlich durch einen Keramik-

30

schwamm 8 voneinander getrennt. Das gemeinsame Gehäuse 5 besteht aus einem dünnen Blech, vorzugsweise mit einer Wandstärke von 0,1 bis 0,5 mm, das auf die Ränder der Aufnahmekörper 9 und 10 und den zwischengeschalteten Keramikschwamm 8 aufgelegt ist. Die mechanische Stabilität des Bleches wird dabei durch das Auflegen auf die Metallschwämme beziehungsweise den Keramikschwamm hergestellt, so dass das Blech selber statisch instabil ausgeführt sein kann. Dadurch sind besonders geringe Wandstärken möglich, welche wiederum zu einer besonders geringen Wärmekapazität der gesamten Feststoff-Sorptionswärmepumpe führen.

Der Dampftransport zwischen der Adsorber-Desorber-Einheit 2 und der Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 verläuft durch den Keramikschwamm und in den Dampfkanälen 19, welche in die Adsorber-Desorber-Einheit 2 eingebracht sind. Wie dargestellt, ist die Kondensator-Verdampfer-Einheit 6 unterhalb der Adsorber-Desorber-Einheit 2 ausgeführt und weist mindestens eine Höhe auf, die so groß ist, wie der maximale Füllstand mit anfallendem Kondensat.

In Figur 6 ist eine vorzugsweise Ausführung des gemeinsamen Gehäuses 5 dargestellt. In den Innenraum wird die Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 geschaltet, die in dieser Ansicht selber nicht dargestellt ist. Das Gehäuse 5 ist zweischalig ausgeführt, umfassend eine innere Schale, die vorzugsweise aus einem dünnen Metallblech hergestellt ist, und eine äußere Schale, die vorzugsweise ebenfalls aus einem dünnen Metallblech hergestellt ist.

In den Zwischenraum zwischen die beiden Schalen, das heißt zwischen die innere Blechverkleidung 26 und die äußere Blechverkleidung 27, ist vorzugsweise eine Granulatschüttung 14 eingebracht, welche eine derartige mechanische Stabilität aufweist, dass sie Druckkräfte zwischen den beiden Blechverkleidungen 26, 27 überträgt. Dadurch ist es möglich, diese anfallenden Kräfte nach innen auf beispielsweise in den vorherigen Figuren dargestellten Aufnahmekörper beziehungsweise Wärmetauscherrohre zu übertragen. Somit können auch die Blechverklei-

dungen 26 und 27 in besonders geringer Wandstärke ausgeführt werden, um die Kapazität der Feststoff-Sorptionswärmepumpe gering zu halten.

5 An das dargestellte Gehäuse ist ein Evakuierungsstutzen 28 angeschlossen, der vorzugsweise zweigeteilt durch Ineinanderschalten eines inneren Rohres in ein äußeres Rohr ausgeführt ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, getrennte Stutzen anzuordnen. Mittels des Evakuierungsstutzens 28 kann sowohl der Innenraum der Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 wie auch der Zwischenraum zwischen den beiden Schalen des Gehäuses 5 evakuiert werden. Die Evakuierung des Innenraumes der Feststoff-Sorptionswärmepumpe 1 dient dabei der Einstellung eines vorgegebenen Druckes entsprechend der Erfordernisse des verwendeten Arbeitspaares. Die Evakuierung des Zwischenraumes im Gehäuse 5 dient der optimalen Wärmedämmung.

15 Seitlich im Gehäuse 5 sind die Rohrdurchführungen 29 für die Wärmetauscher der Adsorber-Desorber-Einheit und der Kondensator-Verdampfer-Einheit dargestellt.

20 Als Dämmmaterial, das zwischen die beiden Schalen des Gehäuses 5 eingebracht wird, kann beispielsweise Silikagel, Perlit oder Schaumglasperlen verwendet werden.

25 Die in den Zeichnungen dargestellte Ausführung der Erfindung weist verschiedene Vorteile auf. So kann ein besonders einfacher, kompakter Aufbau erreicht werden. Durch die Verwendung einer Blechverkleidung als Vakuumbehälter kann eine besonders geringe spezifische Wärmekapazität erreicht werden und damit ein hohes Wärmeverhältnis auch ohne innere Wärmerückgewinnung. Der Einsatz einer vakuumsuperisolierten Wärmedämmung in einem doppelwandigen Behälter ist möglich. Zugleich ist eine leichte Anpassung des diskontinuierlichen Wärmepumpenbetriebs an den Heizbedarf durch eine variable Zyklendauer möglich. Dadurch werden externe Pufferspeicher, wie sie in herkömmlichen thermisch angetriebenen Wärmepumpen häufig eingesetzt werden, vermieden.

30

Bezugszeichenliste

	1	Feststoff-Sorptionspumpe
	2	Adsorber-Desorber-Einheit
5	3	Wärmetauscher
	4	Feststoff-Sorptionsmaterial
	5	Gehäuse
	6	Kondensator-Verdampfer-Einheit
	7	adsorptivdurchlässiges Element
	8	Keramikschwamm
	9	Aufnahmekörper
	10	Aufnahmekörper
	11	Kondensations-Verdampfungs-Rohr
	12	Rohrabschnitt
15	13	Umlenkung
	14	Granulatschüttung
	15	Dampfraum
	16	Kondensatraum
	17	Lamellenblatt
20	18	Wärmeträgerrohr
	19	Dampfkanal
	20	Heizkreislauf
	21	Hochtemperaturquelle
	22	Niedertemperaturquelle
25	23	Heizeinrichtung
	23.1	Abgaswärmeüberträger
	23.2	Heizung
	24	Heizkreisverteiler
	25	Heizkreislaufventil
30	26	innere Blechverkleidung
	27	äußere Blechverkleidung

28 Evakuierungsstutzen

29 Rohrdurchführung

Patentansprüche

1. Feststoff-Sorptionswärmepumpe (1), umfassend:
 - 1.1 eine Adsorber-Desorber-Einheit (2), mit einem Wärmetauscher (3) und einem Feststoff-Sorptionsmaterial (4);
gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:
 - 1.2 die Adsorber-Desorber-Einheit (2) ist in einem gemeinsamen, zur Umgebung abgedichteten Gehäuse (5) zusammen mit einer Kondensator-Verdampfer-Einheit (6) angeordnet, wobei die Adsorber-Desorber-Einheit (2) und die Kondensator-Verdampfer-Einheit (6) durch ein adsorptivdurchlässiges Element (7) voneinander getrennt sind.
2. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kondensator-Verdampfer-Einheit (6) im gemeinsamen Gehäuse (5) unterhalb der Adsorber-Desorber-Einheit (2) angeordnet ist.
3. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das adsorptivdurchlässige Element (7) als ein dampfdurchlässiger Schwamm, insbesondere Keramik-Schwamm (8), ausgebildet ist, der einen vorgegebenen Abstand zwischen der Adsorber-Desorber-Einheit (2) und der Kondensator-Verdampfer-Einheit (7) herstellt.
4. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Adsorber-Desorber-Einheit (2) einen wärmeleitenden Aufnahmekörper (9) umfasst, der in wärmeleitender Verbindung mit dem Wärmetauscher (3) angeordnet ist und der derart aufgebaut ist, dass er das Sorptionsmaterial (4) aufnimmt und die strukturelle Stabilität der Adsorber-Desorber-Einheit (2) herstellt.
5. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kondensator-Verdampfer-Einheit (7) einen gleichartigen

Aufnahmekörper (10) wie die Adsorber-Desorber-Einheit (2) umfasst, der derart aufgebaut ist, dass er von einem Wärmeträger durchströmte Kondensations-Verdampfungs-Rohre (11) zum Abführen von Kondensationswärme und Zuführen von Verdampfungswärme aufnimmt und die strukturelle Stabilität der Kondensator-Verdampfer-Einheit herstellt.

6. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufnahmekörper (9, 10) als Lamellenkonstruktion oder Metallschwamm ausgeführt ist.
7. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenraum des gemeinsamen Gehäuses (5) mit einem Unterdruck beaufschlagt ist und das gemeinsame Gehäuse (5) als dünnwandige Blechummantelung ausgeführt ist, die derart auf die Aufnahmekörper (9, 10) und insbesondere auf Abschnitte des Wärmetauschers (3) und der Kondensations-Verdampfungs-Rohre (11) aufgelegt ist, dass die durch den Unterdruck erzeugten Kollabierungskräfte auf die Aufnahmekörper (9, 10) und/oder den Wärmetauscher (3) und die Kondensations-Verdampfungs-Rohre (11) abgeleitet werden.
8. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmetauscher (3) und die Kondensations-Verdampfungs-Rohre (11) jeweils in Form von einer oder mehreren Rohrschleifen ausgebildet sind, wobei jede Rohrschleife eine Vielzahl von horizontal angeordneten Rohrabschnitten (12) umfasst, die an ihren horizontalen Enden durch Umlenkungen (13) wärmeträgerführend miteinander verbunden sind.
9. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß der Ansprüche 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Blechummantelung von außen auf die Umlenkungen (13) aufgelegt ist.

10. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Tragkörper (9) und/oder der Wärmetauscher der Adsorber-Desorber-Einheit (2) mit dem Feststoff-Sorptionsmaterial (4) beschichtet ist/sind.

5

11. Feststoff-Sorptionswärmepumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das gemeinsame Gehäuse (5) als zweischaliges Gehäuse ausgebildet ist, dessen Zwischenraum zwischen den Schalen mit einem druckkräfteübertragenden, wärmedämmenden Material, insbesondere einer Granulatschüttung (14) aufgefüllt ist, und dass der Zwischenraum zwischen den Schalen evakuiert ist.

12. Heizungssystem, umfassend:

- 12.1 einen Heizkreislauf (20), der von einem Wärmeträger durchströmt wird;
12.2 eine Hochtemperaturquelle (21), die an den Heizkreislauf (20) angeschlossen ist, zum Zuführen von Wärme in den Wärmeträger auf einem vorgegebenen ersten Temperaturniveau;

15

- 12.3 eine Niedertemperaturquelle (22), die an den Heizkreislauf (20) angeschlossen ist, zum Zuführen von Wärme in den Wärmeträger auf einem vorgegebenen zweiten Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt;

20

- 12.4 eine Heizeinrichtung (23), die an den Heizkreislauf (20) angeschlossen ist, zum Abführen von Wärme aus dem Wärmeträger auf einem vorgegebenen dritten Temperaturniveau, das zwischen dem ersten und dem zweiten Temperaturniveau liegt;

25

- 12.5 eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, die an den Heizkreislauf (20) angeschlossen ist;
12.6 einen Heizkreisverteiler (24) und/oder Heizkreislaufventile (25), der/die an den Heizkreislauf (20) angeschlossen ist/sind, zum selektiven Einstellen der Strömung des Wärmeträgers durch den Heizkreislauf (20).

30

13. Heizungssystem gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizkreisverteiler (24) und/oder die Heizkreislaufventile (25) einstellbar für drei Schaltphasen ist/sind:
- 5 13.1 eine erste Schaltphase – Desorptionsphase -, in der ein erster Strömungskreislauf des Wärmeträgers zwischen der Hochtemperaturquelle (21) und der Adsorber-Desorber-Einheit (2) hergestellt ist und ein zweiter Strömungskreislauf des Wärmeträgers zwischen der Kondensator-Verdampfer-Einheit (6) und der Heizeinrichtung (23);
- 13.2 eine zweite Schaltphase – Adsorptionsphase -, in der ein erster Strömungskreislauf des Wärmeträgers zwischen der Heizeinrichtung (23) und der Adsorber-Desorber-Einheit (2) eingestellt ist und ein zweiter Strömungskreislauf des Wärmeträgers zwischen der Niedertemperaturquelle (22) und der Kondensator-Verdampfer-Einheit (6);
- 15 13.3 eine dritte Schaltphase – Bypassphase -, in der ein Strömungskreislauf des Wärmeträgers zwischen der Hochtemperaturquelle (21) und der Heizeinrichtung (23) eingestellt ist.

Feststoff-Sorptionswärmepumpe

Zusammenfassung

5 Die Erfindung betrifft eine Feststoff-Sorptionswärmepumpe.

Gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst die Feststoff-Sorptionswärme-pumpe eine Adsorber-Desorber-Einheit mit einem Wärmetauscher und einem Feststoff-Sorptionsmaterial.

Die Erfindung ist durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet:

15 Die Adsorber-Desorber-Einheit ist in einem gemeinsamen, zur Umgebung abgedichteten Gehäuse zusammen mit einer Kondensator-Verdampfer-Einheit angeordnet, wobei die Adsorber-Desorber-Einheit und die Kondensator-Verdampfer-Einheit durch ein adsorptivdurchlässiges Element voneinander getrennt sind.

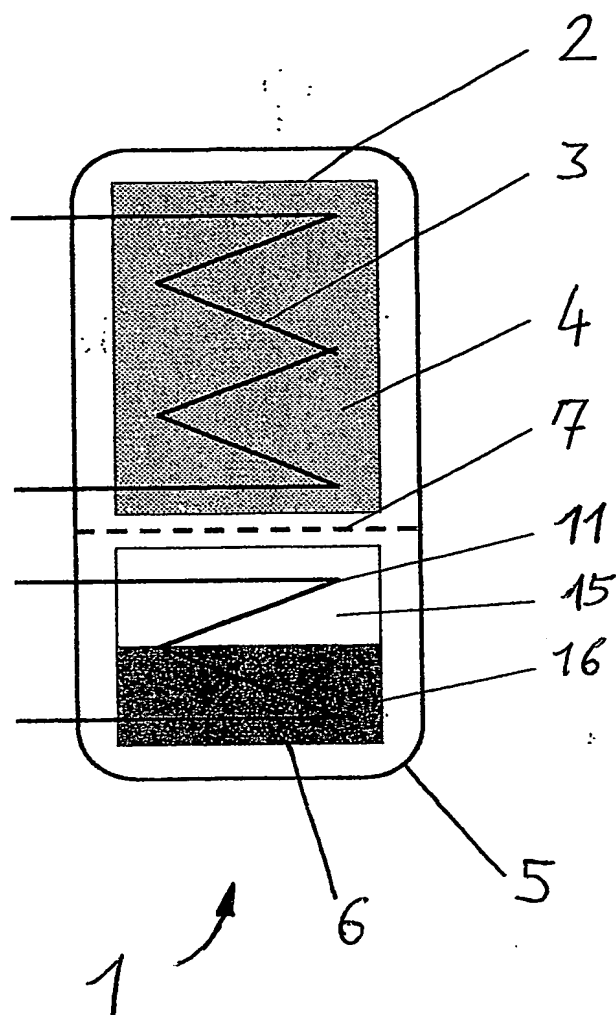


Fig. 1

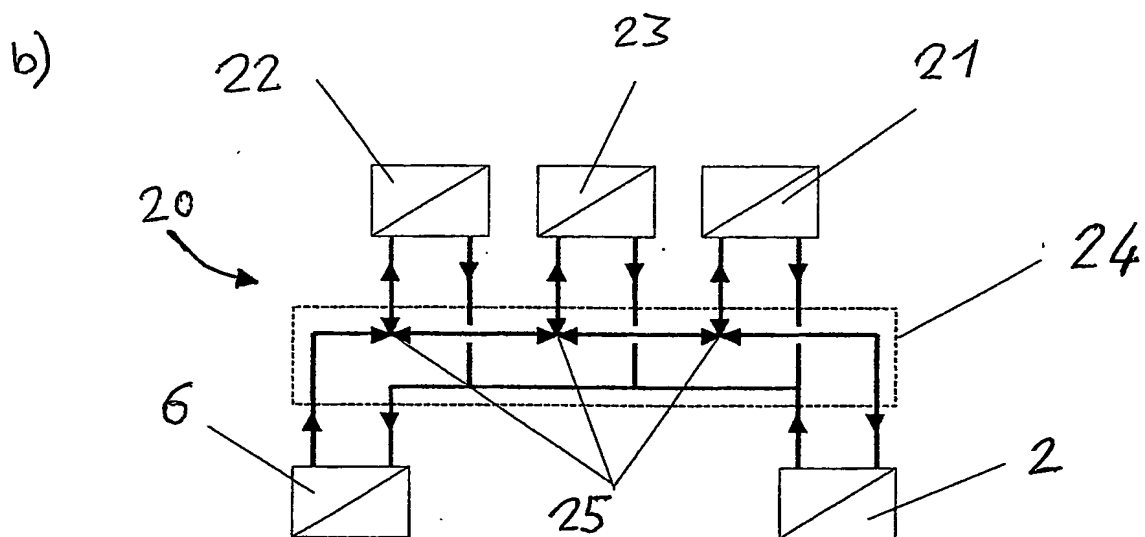
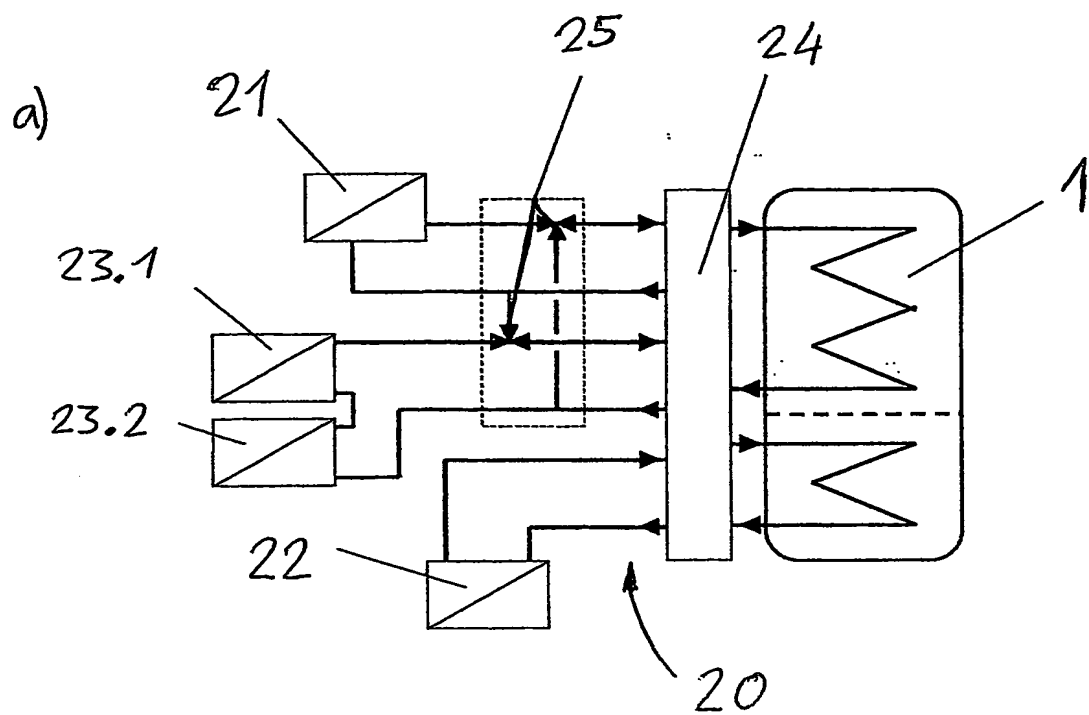
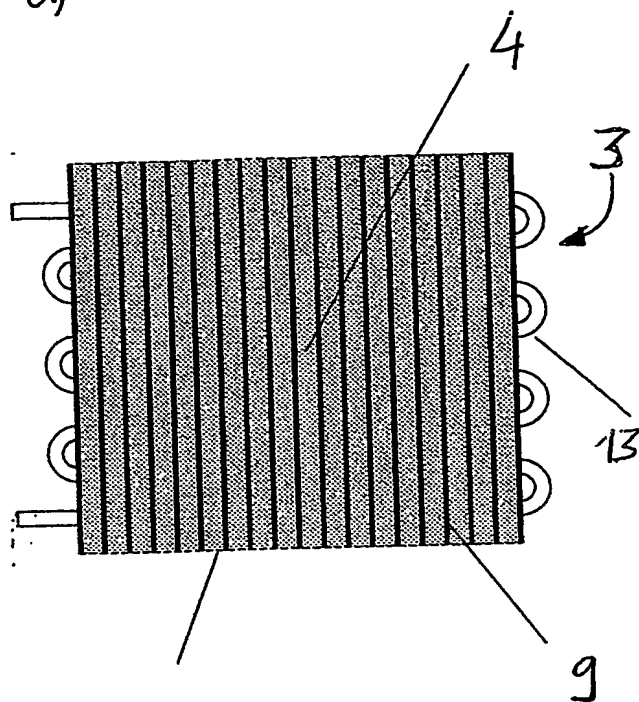
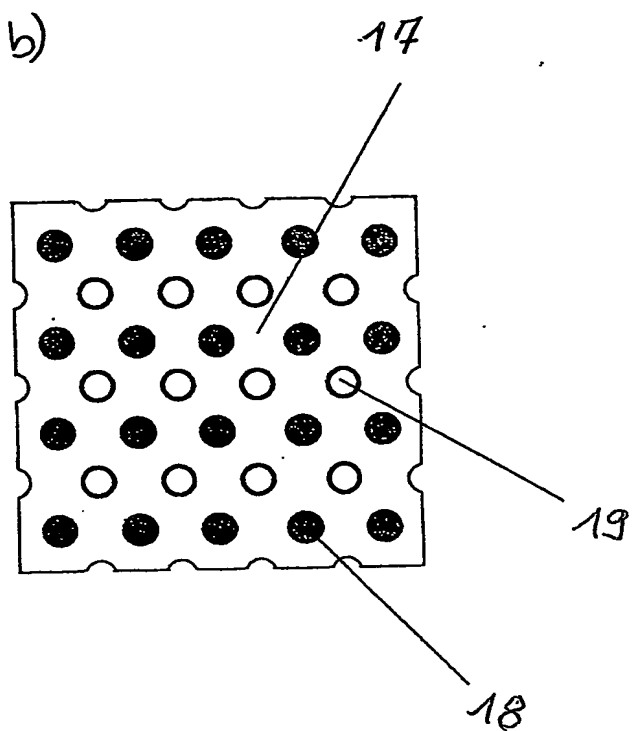


Fig. 2

a)



b)



c)

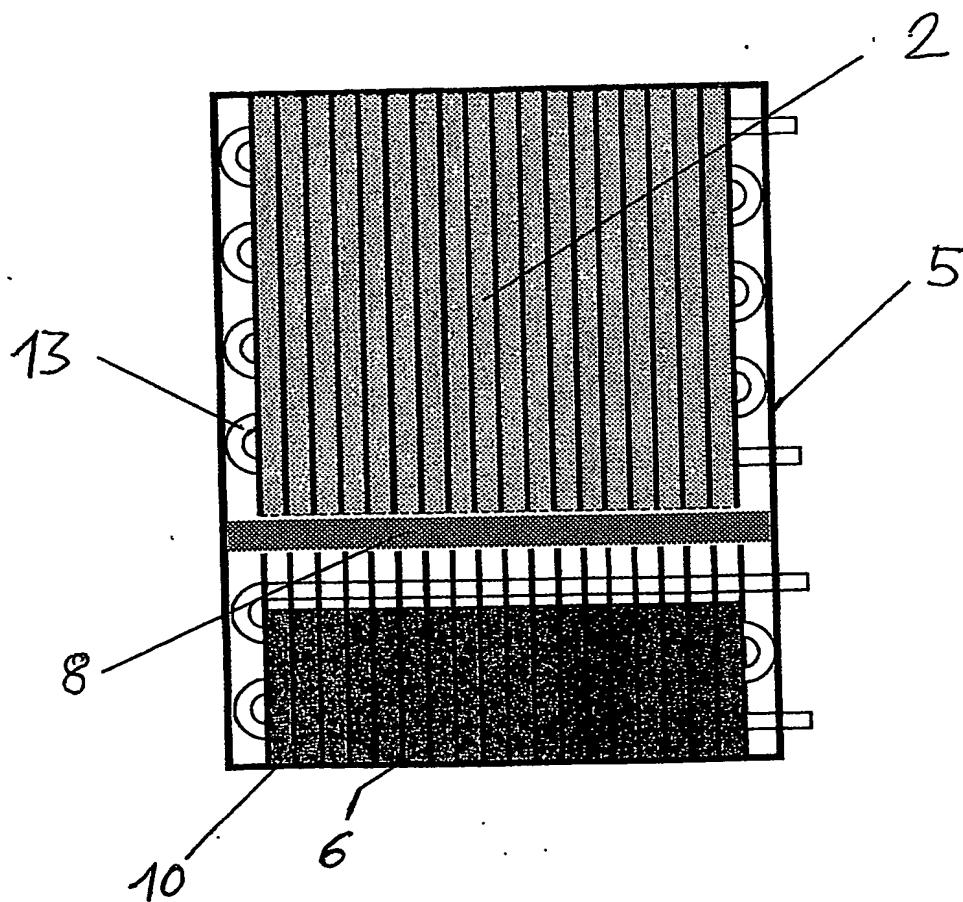


Fig. 3

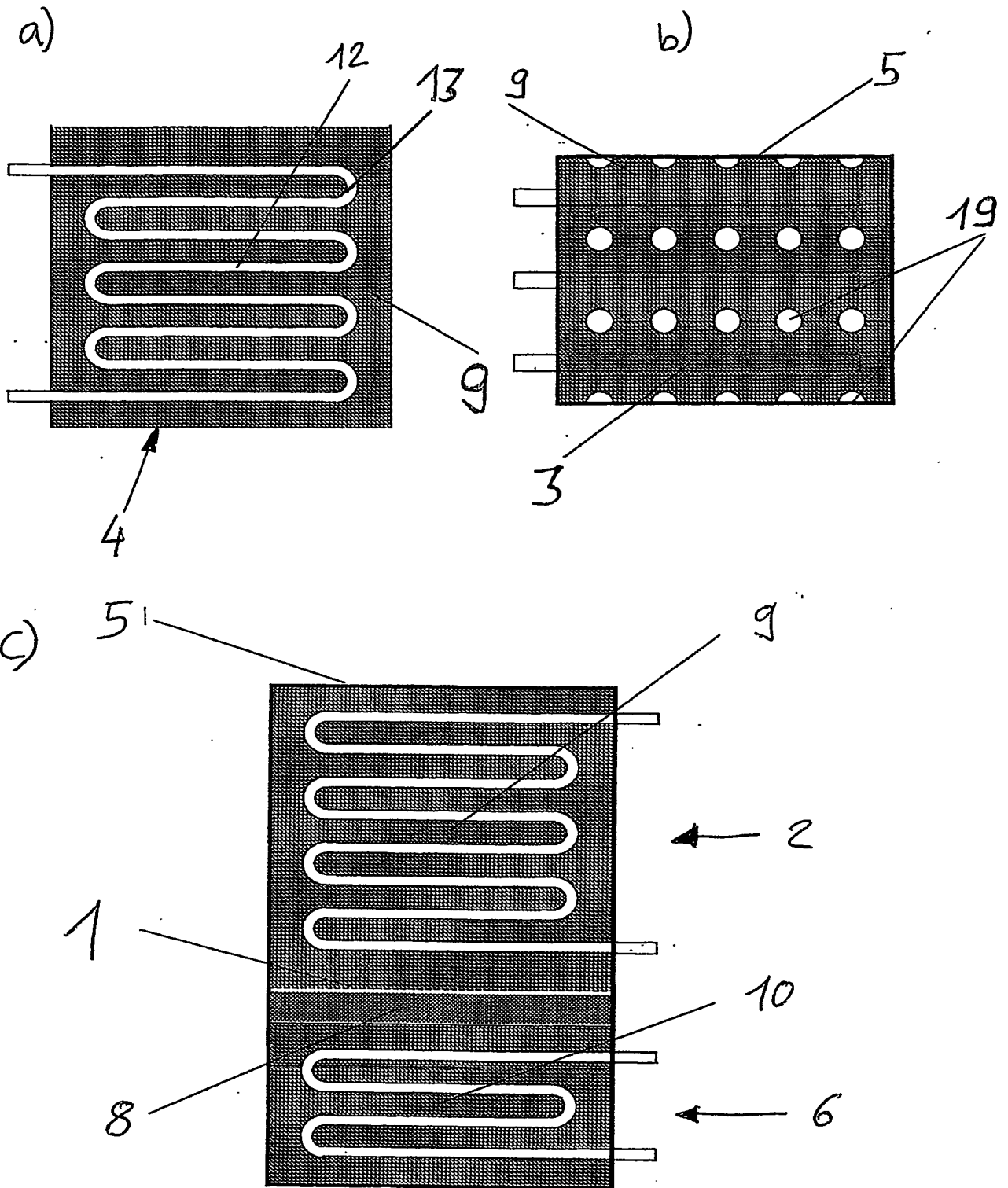
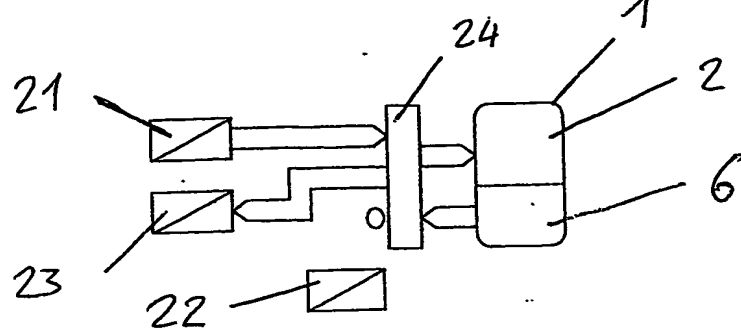
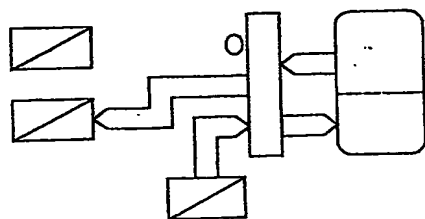


Fig. 4

a)



b)



c)

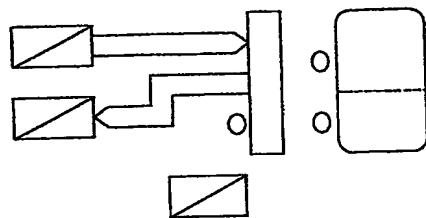


Fig. 5

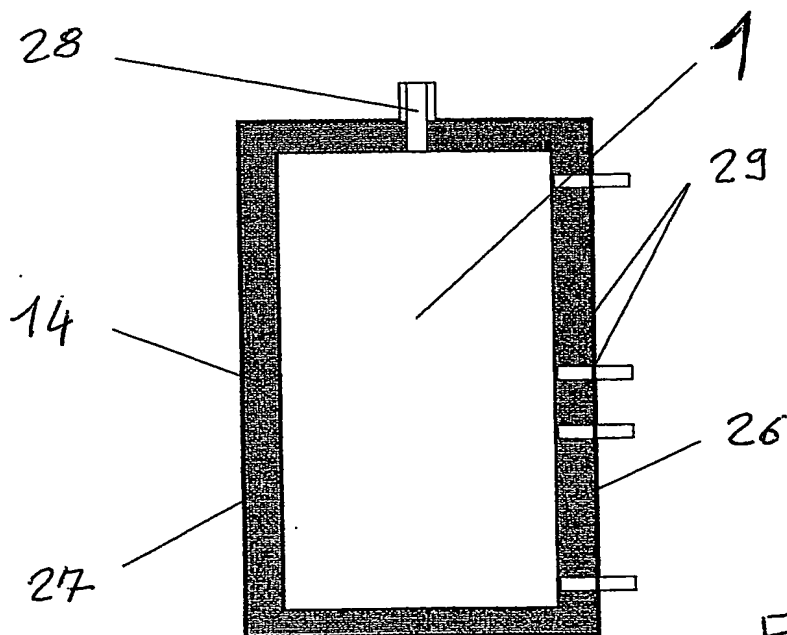


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.